# ＬＥＤ照明の原理と活用

－ 屋外デジタル時計の製作 －

愛知県立豊橋工業高等学校

電子工学科　柴田尚吾

堀内郁哉

要旨

　高出力ＬＥＤを使用した屋外仕様デジタル時計を製作し、屋外学校行事での時間確認やＬＥＤ照明等の教材開発の準備に役立てる。
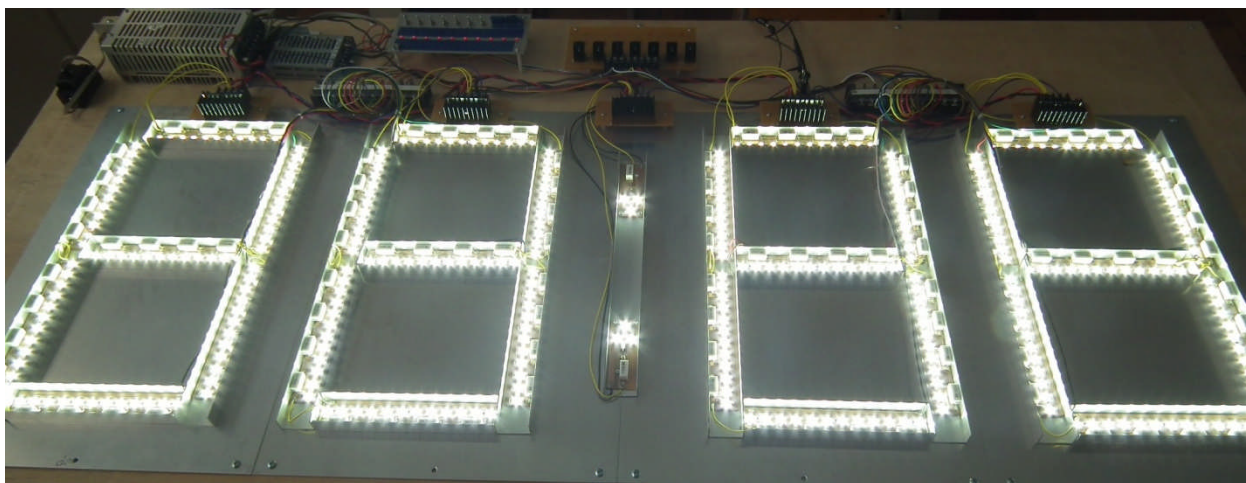
写真１　製作した時計表示部

## １　はじめに

　本研究は本校の普通教室棟運動場側に設置してあった屋外時計が故障したためその代替として考えられた。先日行われた体育大会（９／２６実施）において時計を持っていない生徒から現在時刻を質問される事が何度もあり、運動場での体育や部活動の生徒からは以前のように屋外に時計があったほうが良いという声を聞いている。活動中に時計や携帯電話を持っている生徒は少ないのでやはり外部に時計は必要である。

　電子工学科では科の特色から時計機能部を製作するよう校長先生から依頼され、時計本体を収める筐体とそれを支える架台は本校 他科が担当することになっており各学科が専門性を活かしてこのプロジェクトを進めることになった。

　学校施設の整備として既製品を用意してしまえばそれまでであるが、ものづくりの楽しさや喜びを感じる教育を実践するために教員自身の自己研鑽を目的として、敢えて手作りにこだわり校内で各科が協力し製作物を完成させていくことはこれからの工業教育の在り方を考える機会になる。また時計表示部分に使用したＬＥＤについて従来は動作状態表示に用いられることが多
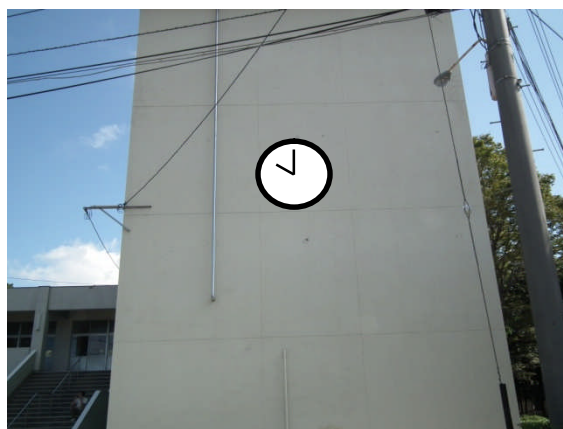
写真２　時計が撤去された普通教室棟の壁

かったが、高出力化、白色化、高効率化によって照明や自動車のライトなどにも使用され今後さらに応用範囲が拡大していくとおもわれる。蛍光灯や白熱灯などとの置き換えがさらに進み、身近な光源になっていくＬＥＤについて実習テーマづくりを考える良い機会になると考えた。

## ２　時計表示部の大きさ

遠方からはっきり見えるために必要な大きさを調べた。大きければそれだけ見易くなるが、筐体が無駄に大きくなるのは設置や予算の上で問題がある。実際に校舎の窓に、数字を印刷した用紙を貼り付け実験を繰り返した結果縦５０㎝横３０㎝程度が適当であった。時計表示部にこの程度の大きさの７セグメントＬＥＤが使用できればよいが、入手することができた７セグメントＬＥＤは一番大きなものでも縦１４㎝で（写真３左）しかも明るさが不足していた。市販されているもので高輝度かつ大きなものは価格が非常に高く入手できなかった。そのため高輝度 LED を使用していちから７セグメント LED を自作することにした。
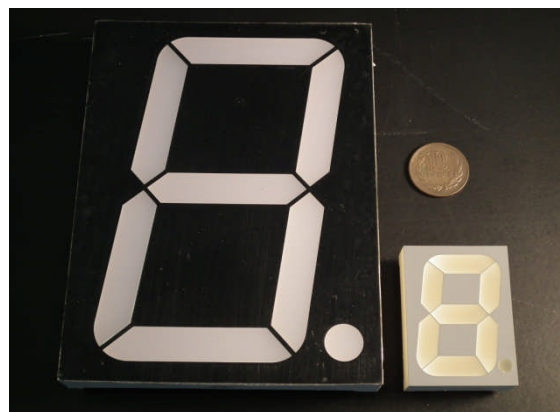
写真３　入手した７セグメントＬＥＤ

## ３　高出力ＬＥＤ

７セグメントをＬＥＤ単体を組合せて構成することを考えた。使用するＬＥＤは日差しが強い昼間でもはっきり見える光量が必要であった。

最近のフラッシュライト等に使われているＬＥＤは非常に強力なものもあり、このような高出力ＬＥＤを使って表示部の光源にすればよいのではないかと考えた。

実験では秋月電子で販売されている１Ｗ級白色ＬＥＤ（写真４　中央）と砲弾型高輝度ＬＥＤ（写真４　右）を使用した。単体で標準電流を流してどちらが明るいか試した。結果は１Ｗ級白色ＬＥＤのほうが断然明るかった。また表１、２は各ＬＥＤから出てくる光の広がり方を示す指向特性図と最大定格である。遠方から見るほど指向特性が狭くても良いが、広い運動場と管理棟の位置関係からも、なるべく広い特性の方が今回の製作には向いていると判断した。１Ｗ級白色ＬＥＤは半減角は１２０°、砲弾型高輝度ＬＥＤでは６０°である。以上の事から１Ｗ級白色

写真４　高出力ＬＥＤ

**■Absolute Maximum Rating**　(Ta=25℃)

| Item | Symbol | Value | Unit |
|---|---|---|---|
| DC Forward Current | $I_F$ | 400 | mA |
| Pulse Forward Current* | $I_{FP}$ | 500 | mA |
| Reverse Voltage | $V_R$ | 5 | V |
| Power Dissipation | $P_D$ | 1600 | mW |
| Operating Temperature | Topr | -30 ~ +85 | ℃ |
| Storage Temperature | Tstg | -40~ +100 | ℃ |
| Lead Soldering Temperature | Tsol | 260℃/5sec | - |

*Pulse width Max.10ms　Duty ratio max 1/10

**■Directivity**
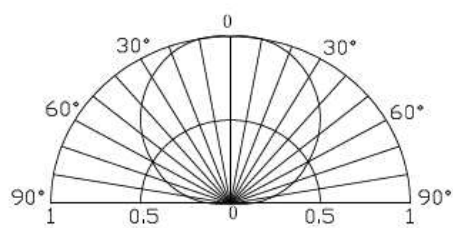
表１　１Ｗ級白色ＬＥＤの定格と指向特性

**■Absolute Maximum Rating** (Ta=25℃)

| Item | Symbol | Value | Unit |
|---|---|---|---|
| DC Forward Current | $I_F$ | 30 | mA |
| Pulse Forward Current* | $I_{FP}$ | 100 | mA |
| Reverse Voltage | $V_R$ | 5 | V |
| Power Dissipation | $P_D$ | 108 | mW |
| Operating Temperature | Topr | -30 ~ +85 | ℃ |
| Storage Temperature | Tstg | -40 ~ +100 | ℃ |
| Lead Soldering Temperature | Tsol | 260℃/5sec | - |

*Pulse width Max 10ms , Duty ratio max 1/10

**■Directivity**
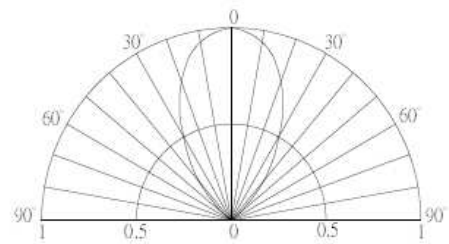
表２　砲弾型高輝度ＬＥＤの定格と指向特性

ＬＥＤ（以下ＬＥＤ）を使用する。

４　ＬＥＤ駆動回路

１セグメントあたり１２個のＬＥＤを駆動する回路を考えた。定電流回路を用いて駆動するのがよいが部品点数の増加、今後の保守部品入手状況の変化を考え、単純な抵抗による電流制限駆動とした。この方法は順電圧のばらつきや抵抗の定格電力を考慮する必要がある。接続方法は並列接続と直列接続がある。

（１）ｎ個のＬＥＤを並列に接続する方法

①　電流はＬＥＤ単体のｎ倍必要である。

②　低い電源電圧で駆動することができる。

③　抵抗の耐電力は小さくなる。

④　ＬＥＤが短絡故障すると全体の回路電流が増加する。
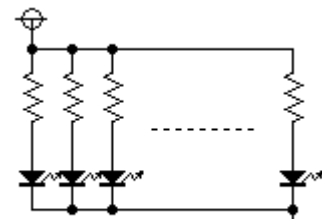
図１　電流制限抵抗による並列回路

（２）ｎ個のＬＥＤを直列に接続する方法

①　電流はＬＥＤ単体の電流でよい。

②　ＬＥＤｎ個分の電源電圧が必要である。

③　抵抗の耐電力は大きくなる。

④　１つでもＬＥＤがオープン故障すると全体が不点灯になる。

図２　電流制限抵抗による直列回路

（３）電流制限抵抗

抵抗によって余分な電力を消費させる。ＬＥＤの駆動電圧と電源電圧の差が大きいと効率が低下し、抵抗の発熱も大きくなる。経年変化による抵抗値の変化も考えて充分な耐電力の抵抗が必要である。

（４）１２個のＬＥＤを駆動する回路

電源電圧が確保できるならＬＥＤを直列接続するほうが簡単である。何個接続してもすべてのＬＥＤに同じ電流がながれるので順電圧がばらついていても関係ない。またＬＥＤが増えると効率が上がる。

１セグメントに使用する１２個のＬＥＤをすべて直列にした場合電源電圧はＬＥＤ１個あたりに必要な電圧の１２倍になる。今回使用したＬＥＤは$V_F$＝３．３Ｖ（標準）であるので、３

９．６Ｖ必要になる。直列の場合ＬＥＤが１個でもオープン故障するとすべてのＬＥＤが点灯しなくなる。電流制限抵抗は１つでいいが、電流を増やすと耐圧が大きな抵抗が　必要になる。用意できたスイッチング電源の電源電圧（１５Ｖ）の大きさから３個の LED を直列に接続した回路を４つ並列にして駆動している。

１つの直列回路では順方向電圧が標準で３．３Ｖ×３＝９．９Ｖで残りの２．１Ｖが抵抗にかかる電圧になる。順電流は２．１／１０＝０．２１Ａとなる。よって１セグメントあたりの電流値は４倍の０．８４Ａとなる。７セグメントでは７倍の５．８８Ａとなる。今回アノード側スイッチング回路ではドレイン電流に余裕がある（直流で３０Ａ）ＦＥＴを使用している。電流制限抵抗は５Ｗのセメント抵抗を使用し０．２１Ａ×２．１Ｖ＝０．４４１Ｗ<<５Ｗで充分な耐圧を確保している。
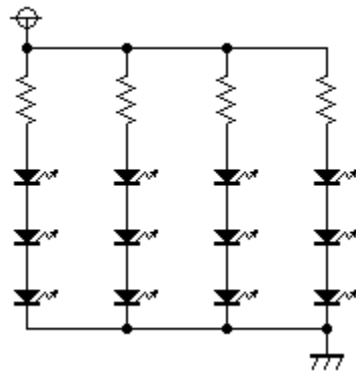
図３　実際のＬＥＤ駆動回路

写真５　１セグメント発光

５　ダイナミック点灯と輝度調整

点灯方式はダイナミック点灯を採用している。１桁ごとに点灯している時間が重ならないので、消費電力を抑えると供に、またマイコンの出力ポート数の節約ができる。点灯信号１周期を４分割して１桁分の点灯時間に割り当てている。１周期１２ｍｓに設定し約３ｍｓずつ各桁を点灯させている。３ｍｓの点灯時間を減少させることにより輝度の調節をしている。また各桁の点灯信号は計算上は３ｍｓだが、ＦＥＴのスイッチングによりパルス信号をつくっているため遅延が生じている。余裕をみて次の桁点灯信号に被らないようにするため最低０．２ｍｓ程度の OFF 時間を設けている。
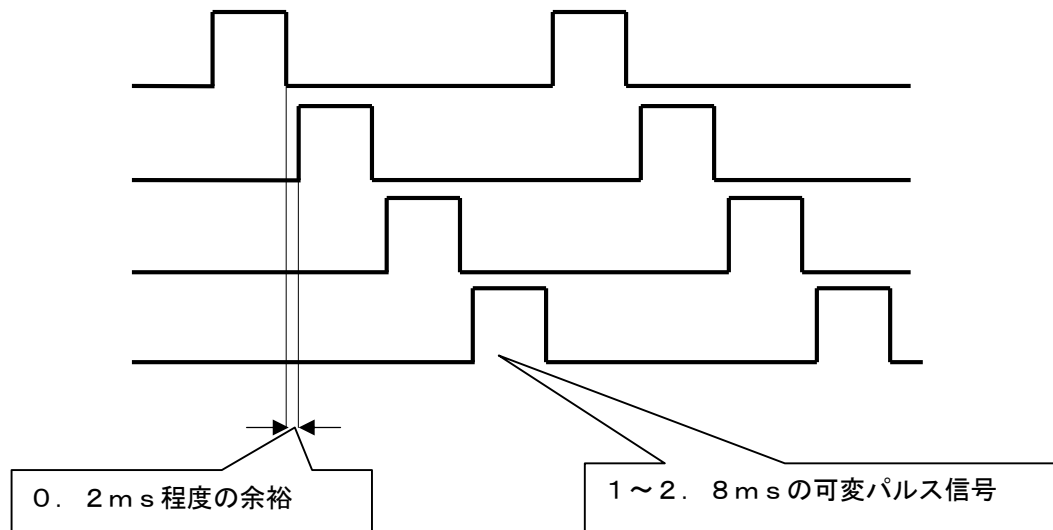
図４　ダイナミック点灯信号（４桁分）

デューティ比の違いよる１桁分の７セグメントＬＥＤに流れる電流値を測定し表３にまとめた。４桁分のダイナミック点灯なので２５％未満になる。

| デューティ比[%] | 7セグ電流<br>[A]（1桁） |
|---|---|
| 5 | 0.8 |
| 10 | 1.2 |
| 20 | 1.7 |
| 25 | 2.0 |
| 30 | 2.1 |
| 40 | 2.7 |
| 50 | 3.3 |
| 60 | 3.8 |
| 70 | 4.2 |
| 80 | 4.3 |
| 90 | 4.3 |
| 100 | 4.3 |

表３　各デューティ比における７セグメントＬＥＤに流れる電流（１桁分）“８”表示時

写真６　７セグメント

## ６　放熱設計

出力の高いＬＥＤは非常に発熱が多い。ＬＥＤ内部で発生する熱をある温度から上昇しないようにするために熱抵抗の小さい放熱物体を接触させて熱を逃がすことが必要である。
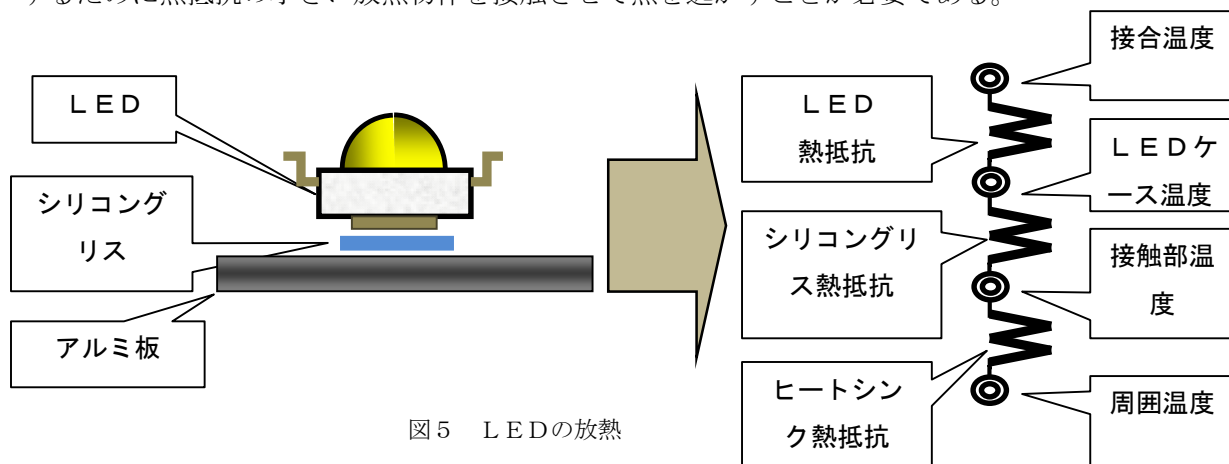
図５　ＬＥＤの放熱

（１）ＬＥＤ１ヶあたりのヒートシンク面積

接合部から周囲大気までの熱抵抗$\theta_{JA}$は

$$\theta_{JA} = (T_J - T_A) \div Pd = (120 - 60) \div (3.3 \times 0.35) = 52\ [℃/W]$$

よってヒートシンクの熱抵抗$\theta_F$は

$$\theta_F = \theta_{JA} - (\theta_c + \theta_g) = 52 - (20 + 0.05) = 31.95\ [℃/W]$$

この値より小さければ良い。ＬＥＤ１ヶあたりのヒートシンク面積は

７セグメント分のアルミ板面積÷７セグメント分のＬＥＤ数から

$$60\,\mathrm{cm} \times 40\,\mathrm{cm} \div 84ヶ = 28.6\ [\mathrm{cm}^2]$$

表４よりアルミ板厚さ２mm　２８．６［$\mathrm{cm}^2$］の熱抵抗は約１４［℃/W］になる。さらに放熱能力に余裕をもたせるためにヒートシンクに図６のようにアルミ製Ｃ型チャンネル（４cm×２cm　２ｔ）にＬＥＤ基板を実装している。

表４　アルミ板の熱抵抗グラフ
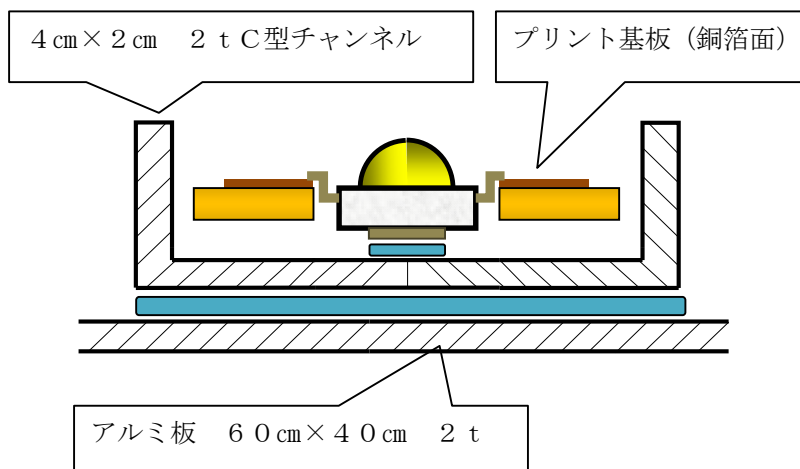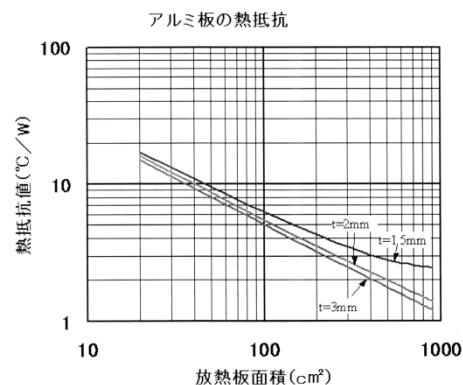
図６　ＬＥＤの放熱
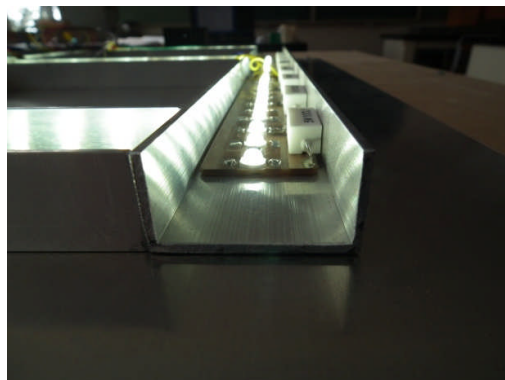
写真７　ＬＥＤ

（２）ＬＥＤの配置間隔について

先の計算からヒートシンクとしてのアルミ板はＬＥＤの放熱に充分な面積がある。

ＬＥＤの設置間隔が狭いと発生する熱が集中して放熱しにくくなる。可能な限りＬＥＤの間隔を広くとることでＬＥＤの接合温度が下がりやすくする。

（３）基板材質について

使用する基板材質は熱導伝率が高いもののほうが、発生した熱がヒートシンクへ伝わりやすくなる。今回はＬＥＤの放熱端子はシリコングリスを介して直接ヒートシンクに取り付けてあるのであまり関係がない。ＬＥＤ単体動作６０秒間でＬＥＤ背面の放熱面が８２℃まで上昇した。ＬＥＤケース温度　ジャンクション温度はさらに高いと思われる。温度上昇で劣化が進むのでしっかり放熱しないと寿命は短くなる。

７　時計機能部

（１）電波時計キット

市販の電波時計キット（写真８）の正秒、正分、正時、正日の外部出力信号を時計の基準信号として利用している。

このキットはＪＪＹ日本標準電波４０ＫＨｚ（福島）を受信し正確な時刻データを得てＬＣＤに日時時刻等の表示することができる。電波が受信できないときは内蔵された基準信号で動作して、一度受信したデータは２次電池（Ｎｉｃｄ１２Ｖ）でバックアップされる。
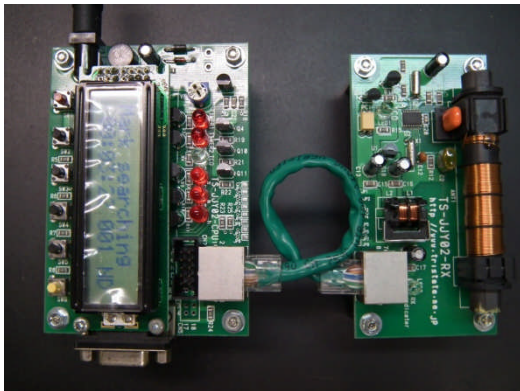
写真８　電波時計キット
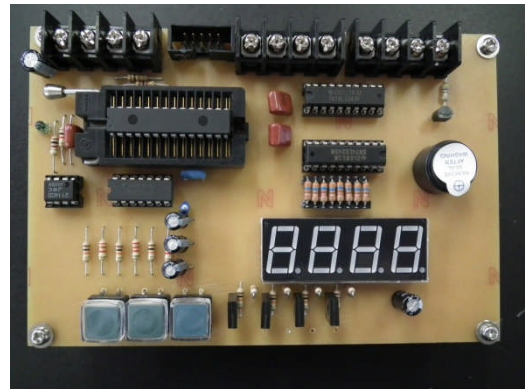
写真９　自作ＰＩＣマイコンボード

（２）自作ＰＩＣマイコンボード

電波時計キットから正秒、正分、正時、正日の信号を受け取り、時刻をカウントしながら４桁の７セグメントＬＥＤに出力することを目的として作成されたのがこの制御ボードである。ＰＩＣマイコンを軸に３つのタクトスイッチで時刻設定等を行えるようにしている。また時計表示部への出力端子、確認用小型７セグＬＥＤ、ボタン操作補助用ブザー、調光用ｃｄｓセンサを搭載している。

今回使用したＰＩＣ１６ｆ８７３Ａを選定した理由は、２０ビット以上あるＩ／Ｏポート、入力信号による割込、タイマー割込、ＡＤコンバータ機能が備わっているからである。ＣＰＵには多種多様な選択肢がある中、最も入手しやすく、プログラミング環境が調えやすいことも今回選定した理由である。

（３）輝度調節

　ダイナミック点灯するための表示部各桁信号パルス幅を調節することで表示の明るさを可変させている。最大２４％のデューティ比が最大輝度の設定になっている。また周囲の明るさを光センサで感知して輝度を変化させている。日中はデューティ比２４％程度で駆動しているが、日が落ちてきて暗くなるとデューティ比１５％程度にして輝度を下げることで消費電力を抑えている。

（４）筐体内の温度管理

　筐体内の装置からの発熱と筐体が日光に晒されることにより筐体内はかなりの温度になると思われる。温度センサを用いて設定温度以上になると排気・給気用のファンを動作させるようにしている。高温や温度変化による部品劣化防止のため筐体内部温度を２５℃程度になるようにファンを稼働させる。

## ８　筐体

　クラフトマンでお世話になっている高技工業(株)様 にて代表取締役の水梨様指導のもと、我が校の電子機械科生徒が製作した。同社では以前より屋外制御盤等の製作実績があり今回の筐体製作に御協力いただいた。

　２００cm×９０cm×２５cmのステンレススチール製、正面の表示が覗く箇所は透明の厚さ４ミリのポリカーボネート板になっている。メンテナンスのために正面は防水処理された扉になっている。学校内はＪＪＹの電波が弱いようなので電波時計本体はこの筐体とは別に用意したプラスチック製の屋外用プラボックス内に設置する予定である。
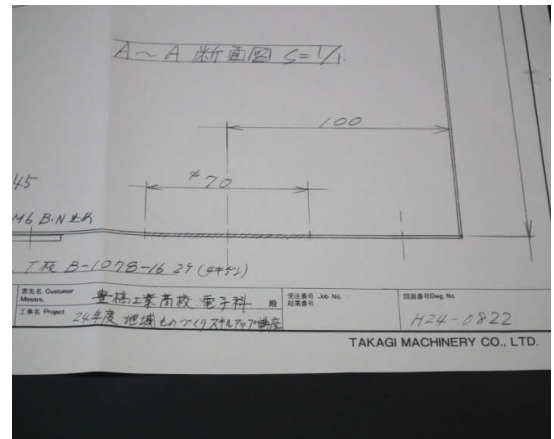
写真１０　筐体図面

## ９　設置場所について

　以前の時計は丸い形をしたアナログ時計で、つい最近まで壁面に取り付けてあった。壁面取付は何をするにも高所作業車、はしご等が必要になり作業的にも経済的にも不便である。今回製作する時計はこのことから校舎の屋上（管理棟）に設置することになった。屋上パラペット高さが８０cmほどあるので、架台を別に用意してその上に筐体を載せないと表示が見えない。また風対策として筐体、架台自身の自重だけでは危険なので台風の場合も考慮し、強固に固定する必要がある。しかし、屋上は防水処理されているのでアンカー等を打ち込んで固定することはできない。パラペットにステーで固定することやワイヤーで位置がずれないよう固定する等、工夫が必要である。

写真１１　新外部時計　設置予定位置（管理棟屋上）

## １０　まとめ

　完成した時計表示部は現在実習室内で稼働実験中である。実際に屋上に設置稼働しはじめれば日光や風雨によって予想もしなかった不具合が発生すると思われる。改良を重ねてなるべく永く使用でき

るようにしていきたい。年度内には時計表示部を筐体に組込み設置完了を目指す予定である。
　来年度は時計を設置稼働して屋外学校行事等での時間確認ができるようになり、生徒の学校生活に活かされ、生徒のものづくりに対する興味・関心を高めることに少しでも役に立てれば幸いである。また研究を継続し、今後ＬＥＤ照明等の教材開発の準備に役立てていきたい。
　今回の研究製作にあたり、筐体設計と製作指導していただいた高技工業(株)取締役の水梨様をはじめ、回路設計等に数多くの助言・協力をいただいた本校 電子工学科の先生方に厚くお礼申し上げます。

参考文献

秋月電子　電波時計 Ver２キット取扱説明書　同　１W高出力ＬＥＤ規格表
トランジスタ技術２００６年２月、２００７年１０月